

Influence of Anthropogenic Climate Change on the Ecophysiology  
of the Cold-Water Coral *Lophelia pertusa*

**Einfluss des anthropogenen Klimawandels auf die Ökophysiologie  
der Kaltwasserkoralle *Lophelia pertusa***

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades  
an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Armin U. Form

Kiel, im März 2011

Referent: Prof. Dr. Ulf Riebesell  
Korreferent: Prof. Dr. Dieter Piepenburg

Tag der mündlichen Prüfung: 26.04.2011

Zum Druck genehmigt: 26.04.2011

gez. Prof. Dr. Lutz Kipp  
(Der Dekan)

## Summary

The scleractinian coral *Lophelia pertusa* (Caryophylliidae) is the most common framework-forming cold-water coral with a global distribution. *L. pertusa* bioherms are hot-spots of biodiversity because their three-dimensional framework provides niches and nursery grounds for a variety of species, including commercially important fish species. In contrast to shallow-water corals from the tropics, very little is known about the ecophysiology of cold-water corals such as *L. pertusa* and their sensitivity towards climate change. The present study intends to start filling this knowledge gap by examining a variety of *L. pertusa*'s ecophysiological responses (e.g. food uptake, respiration, growth, fitness, behaviour) under present-day (in the following referred as “ambient”) and experimentally manipulated environmental conditions.

Living specimens of *L. pertusa* from two Norwegian cold-water coral locations (Oslofjord and Sula Reef Complex) were collected during two research cruises with the aid of the manned submersible JAGO and transferred into a newly established closed recirculating system at IFM-GEOMAR. Long-term analyses (>3 years) of dissolved inorganic nutrients revealed the high tolerance of *L. pertusa* to rising concentrations of nitrate and phosphate. However, for the main toxic compound - ammonium - it could be demonstrated that the corals' polyp behaviour alters if concentrations are increased to  $> 17 \mu\text{mol L}^{-1}$ .

Food availability is thought to be one of the most important factors determining cold-water coral distribution and growth. This study provides feeding rates for three live food organisms encompassing different sizes and qualities. It also describes the food uptake mechanism for mesozooplankton based on the first video documentation of the whole feeding process.

The effect of rising temperatures (ocean warming) on the oxygen consumption, fitness, and behaviour was investigated through a combination of short-term and long-term aquarium experiments. This study shows that at ambient conditions of  $7.5^\circ\text{C}$  *L. pertusa* exhibits low respiration rates of  $\sim 0.3 \mu\text{mol O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  which may increase up to 58 % after a relatively small temperature change ( $+ 3.5^\circ\text{C}$ ). High  $Q_{10}$  values of  $3.7 \pm 0.7$  in these corals and significantly depressed RNA/DNA ratios in coral polyps maintained for 2 weeks under elevated temperatures ( $11^\circ\text{C}$ ) revealed that *L. pertusa* is sensitive to small temperature changes even though analyses of their behaviour may suggest some acclimatisation.

*L. pertusa* exhibits relatively low bulk calcification rates that vary over time and applied measurement methods. On average calcification amounts to  $8.7 \times 10^{-3} \% \text{ d}^{-1}$  which is intermediate in the broad range of reported *L. pertusa* growth rates. Interestingly, corals fed under nearby *ad libitum* conditions showed no relationship between food quality/quantity and growth. This indicates a degree of regulation in the feeding mechanism and may suggest that calcification is rather dependent on a basic metabolic rate than on specific food supply.

The impact of increasing concentrations of  $\text{CO}_2$  (ocean acidification) on *L. pertusa* growth rates and fitness was examined in a short-term (one week) and a long-term (8 months) experiment. This study shows for the first time that - when kept under long-term exposure to elevated  $\text{CO}_2$  levels - *L. pertusa* is capable to compensate for adverse effects as experienced during short-term incubations. Net growth is sustained even in waters undersaturated with respect to aragonite ( $\Omega_{\text{Ar}} < 1$ ). These results suggest that cold-water coral reefs, the majority of which will be exposed to undersaturated waters before the end of this century, may not suffer immediate wide-spread extinction as previously projected. However, the fact that even a temperature increase of about  $3^\circ\text{C}$  seems to be of higher relevance in respect to fitness than a doubling of the  $p\text{CO}_2$  emphasises the problem of synergistic impacts between ocean warming and ocean acidification and the need for further long-term incubation experiments.

## Kurzfassung

Die Steinkoralle *Lophelia pertusa* (Caryophylliidae) ist die häufigste riffbildende und weltweit verbreiteste Kaltwasserkorallenart. Die von ihr gebildeten Lebensräume sind „hot-spots“ der Artenvielfalt da ihre dreidimensionalen Gerüstbauten marinen Lebewesen, darunter fischereiwirtschaftlich relevante Fischarten, Rückzugsort und Brutstätte bieten. Im Gegensatz zu den im Flachwasser beheimateten tropischen Korallen ist über die Ökophysiologie der Kaltwasserkorallen, insbesondere hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit gegenüber dem Klimawandel, bisher sehr wenig bekannt. Die vorliegende Arbeit beabsichtigte daher damit zu beginnen, diese Wissenslücke zu schließen. *L. pertusa* wurde in Experimenten unter natürlichen und manipulierten Bedingungen bezüglich ihrer Reaktionen auf ein breites Spektrum an ökophysiologischen Parametern (Nahrungsaufnahme, Atmung, Wachstum, Fitness und Verhalten) untersucht.

Während zwei Forschungsfahrten wurden mit dem bemannten Tauchboot JAGO lebende Korallenstöcke von *L. pertusa* an zwei norwegischen Kaltwasserkorallenriffen (Oslofjord und Sula Riffkomplex) entnommen und in eine eigens am IFM-GEOMAR errichtete geschlossene Kreislauanlage überführt. Die Auswertung von Wasserproben inorganisch gelöster Nährstoffe - die regelmäßig über drei Jahre hinweg analysiert wurden - zeigten, daß *L. pertusa* eine hohe Toleranz gegenüber Nitrat und Phosphaten aufweist. In einem Kurzzeitversuch konnte allerdings auch gezeigt werden, daß sich das Korallenpolypenverhalten sichtbar verändert, wenn das als toxisch bekannte Ammonium Konzentrationen  $> 17 \mu\text{mol L}^{-1}$  übersteigt.

Nahrungsverfügbarkeit wird als einer der wichtigsten Wachstums- und Verbreitungsfaktoren von Kaltwasserkorallen betrachtet. Diese Arbeit liefert Fraßraten von drei verschiedenen Lebendfutterorganismen und beschreibt die Art und Weise der Nahrungsaufnahme für Mesozooplankton anhand der ersten Videodokumentation des gesamten Nahrungsaufnahmeprozesses.

Der Effekt des Temperaturanstiegs (Ozeanerwärmung) auf den Sauerstoffverbrauch, die Fitness und das Verhalten von *L. pertusa* wurde durch eine Kombination aus Kurz- und Langzeitexperimenten erforscht. Die Studie zeigte, daß bei einer natürlichen Temperatur von  $7,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  *L. pertusa* eine niedrige Respirationsrate von ca.  $0,3 \mu\text{mol O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$  aufweist. Allerdings ist bereits eine relativ geringe Temperaturerhöhung ( $+ 3,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ausreichend, um die

Respirationsrate um bis zu 58 % zu erhöhen. Ein hoher  $Q_{10}$ -Wert von  $3,7 \pm 0,7$  dieser Korallen und signifikant erniedrigte RNA/DNA-Verhältnisse in Korallenpolypen welche für zwei Wochen unter erhöhten Temperaturen (11 °C) gehältert wurden, lassen erkennen, daß *L. pertusa* empfindlich gegenüber geringen Temperaturveränderungen ist, selbst wenn Verhaltensanalysen eine gewisse Akklimatisierung nahelegen.

Die Kalzifizierungsrate gesamter *L. pertusa*-Stöcke war relativ gering, lag mit durchschnittlich  $8,7 \times 10^{-3} \% d^{-1}$  allerdings innerhalb der für diese Art beschriebenen großen Bandbreite und variierte außerdem je nach angewandter Messmethode und Zeit. Interessanterweise zeigten Korallen welche *ad libitum* gefüttert wurden keine Abhängigkeit zwischen der Futterqualität/-quantität und dem Wachstum. Dies deutet auf eine gewisse Regulationsfähigkeit des Fraßmechanismus hin und könnte außerdem bedeuten, daß Kalzifizierung eher von einem metabolischen Grundumsatz als vom spezifischen Nahrungsangebot abhängt.

Der Einfluss steigender  $CO_2$ -Konzentrationen (Ozeanversauerung) auf die Wachstumsraten und Fitness von *L. pertusa* wurde in einem Kurz- und Langzeit-Experiment erfolgreich untersucht. Die Studie zeigte zum ersten Mal, daß *L. pertusa* unter Langzeiteinfluss erhöhter  $CO_2$ -Konzentrationen in der Lage ist, ihre Wachstumsraten aufrechtzuhalten, während diese unter Kurzzeiteinfluss signifikant abnahmen. Selbst in für Aragonit untersättigtem Seewasser ( $\Omega_{Ar} < 1$ ) konnte Nettowachstum erhalten werden. Diese Ergebnisse legen daher nahe, daß Kaltwasserkorallenriffe, welche bereits gegen Ende des Jahrhunderts mehrheitlich in untersättigtem Seewasser liegen werden, eventuell weniger vom Aussterben bedroht sind, als bisher vermutet. Die Tatsache, daß allerdings bereits eine Temperaturerhöhung von 3 °C für die Fitness von *L. pertusa* von höherer Relevanz scheint als eine Verdopplung des  $pCO_2$  verweist auf das Problem synergistischer Einflüsse zwischen Ozeanerwärmung und Ozeanversauerung und betont die Wichtigkeit zukünftiger Langzeit-Experimente.